

## **Sulama Suyu Yönetiminde Yeni Geliştirilen AGROS Bilgisayar Yazılımının Kullanılma Olanakları**

**Eyüp Selim KÖKSAL**

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü,  
Samsun/TÜRKİYE

Sorumlu yazar: eselim@omu.edu.tr; eselimk@yahoo.com

Geliş tarihi: 03/08/2018 Yayına kabul tarihi: 17/12/2018

**Özet:** Bitki su tüketimi (ETc) tahmini ve sulama programlama hesaplamalarına, su kaynakları yönetimi, sulama sistemlerinin tasarımı ve işletilmesi ve kuraklığın değerlendirilmesi gibi birçok alanda ihtiyaç duyulmaktadır. Söz konusu hesaplamalar iklim, toprak, bitki ve su kaynağına ilişkin verilere dayalı karmaşık işlemler içermektedir. Bu işlemlerin kolay ve doğru bir biçimde yapılması için çeşitli bilgisayar modelleri geliştirilmiş ve tüm dünyada araştırma ve uygulama amacıyla kullanılmaktadır. Yeni geliştirilen AGROS yazılımı bitki su tüketimi ve sulama yönetimi, toprak analizi, su analizi, ekonomi analizleri, bitki analizleri ve bitki koruma modüllerine sahip bir tarımsal sistemdir. AGROS yazılımı ile amaçlanan, bitkisel üretimde ihtiyaç duyulan sulama, gübreleme, ilaçlama ve tarımsal ekonomik değerlendirme gibi birçok konuda kullanıcıya karar destek sağlanmasıdır. Bu çalışma kapsamında AGROS yazılımının bitki su tüketimi ve sulama yönetimi modülünün teorik dayanakları verilmiş ve Bafra koşullarında 2010 yılı için salçalık biber bitkisine ilişkin günlük ETc hesaplamaları yapılmış, en uygun koşullar için ve kısıntılı sulama koşulları için sulama programları hazırlanarak verim kaybı tahminleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar 2010 yılında Bafra’ da salçalık biber üzerine yürütülen bir arazi denemesinden elde edilen bulgular ile karşılaştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre AGROS bitki su tüketimi ve sulama yönetimi modülü hem tam sulama hem de kısıntılı sulama koşulları için deneysel olarak elde edilen sonuçlarla uyum içerisindedir.

**Anahtar kelimeler:** AGROS, bitki su tüketimi, sulama programlama

### **Using New Developed Agros Software for Irrigation Management Purposes**

**Abstract:** Crop evapotranspiration (ETc) and irrigation scheduling calculations are required for many activities related to water management, planning and operation of irrigation systems and evaluation of drought. These calculations include complex processes based on data related to climate, soil, crop and water resources. There are a number of computer software’s developed for making these calculations in an easy way and correctly. New developed AGROS software is an agricultural system which has different modules as; crop evapotranspiration and irrigation management, soil analysis, water analysis, economical analysis, plant analysis and plant protection. Main purpose of AGROS software is decision-support for users about irrigation, fertilization, pest application and economical evaluation. In this study, theoretical back ground of AGROS crop evapotranspiration and irrigation management module was given and for Bafra conditions of year 2010, daily ETc values of red pepper were calculated and for same crop irrigation schedules and yield loss estimations were carried out for fully irrigation and limited irrigation. These results were then compared with findings of a field experiment carried out on red pepper under 2010 climatic conditions of Bafra. According to results of this study, crop evapotranspiration and irrigation scheduling module of AGROS system gave consistent estimations with experimental findings, either for fully irrigation or for limited irrigation.

**Keywords:** AGROS, crop evapotranspiration, irrigation scheduling

## Giriş

Bitkisel üretimde sulama suyunun daha etkili kullanılması tüm Dünya’da ve Türkiye’de konu ile ilgili bilim adamları, mühendisler, su kullanıcı örgütleri ve üreticilerin yoğun bir biçimde üzerinde durduğu bir konudur. Çünkü tüm dünyada su kaynakları en çok bitkisel üretimde kullanıldığı gibi, su en çok tarımda israf edilmektedir. Tarımda su kullanım etkinliği kullanılan sulama yöntemi, sulama sistemi ve sulama işletmeciliğine dayalı olarak değişkenlik göstermektedir. Doğru sulama yönteminin seçimi, sulama sistemlerinin doğru tasarımı ve kurulu sistemlerin en uygun şekilde işletilebilmesi için, toprak, iklim, bitki, su kalitesi ve su varlığı gibi koşullara dayanan kararların alınması gerekmektedir. Bu kararların birçoğu bitki su tüketimi (ETc) ve alternatif sulama programlarına dayanmaktadır.

Günümüze kadar ETc’ nin teorik olarak tahmin edilmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları daha az parametreye dayanmakta fakat hata oranı daha yüksek, kimileri ise daha fazla parametreye dayanmakta ve hata oranı daha düşüktür. ETc’ nin tahmin edilmesinde tüm dünyada en çok benimsenen yaklaşım FAO-Penman Monteith yaklaşımıdır. Söz konusu yöntem detaylı iklim verileri ile hesaplanabilen referans bitki su tüketimi (ETo) ve bitkilerin gelişme dönemlerine ilişkin bitki katsayılarına (Kc) dayanmaktadır (Allen ve ark. 1998).

Sulama suyunun ne zaman ve ne kadar uygulanacağını hesaplanması sulama programlama olarak tanımlanabilir. Sulama programlamada toprağın fiziksel özellikleri, günlük iklim koşulları ve bitkilerin gelişme dönemlerinin dikkate alınması gerektiği gibi, tam sulama ve kısıntılı sulama koşulları için de en uygun sulama zamanı ve miktarının kestirilmesi önem arz etmektedir. Hem ETc’ nin tahmini hem de sulama programlama geçmiş yıllara ait uzun yıllar iklim verileri ile yapılabildiği gibi günlük iklim verileri ile gerçek zamanlı olarak da gerçekleştirilebilir. Çoğunlukla uzun yıllar ortalama iklim verileri ile yapılan hesaplamalar sulama sistemlerinin tasarımı ve çeşitli su kaynakları yönetimi faaliyetlerinde kullanılırken, günlük iklim verilerine göre hesaplamalar, araştırma

çalışmaları, sulama sistemlerinin yönetim ve işletmesi gibi faaliyetlerde kullanılmaktadır.

ETc hesabı ve sulama programlama karmaşık hesaplamalara dayanmaktadır ve günümüzde bilgisayar ve yazılım teknolojisi bu karmaşık hesaplamaları kullanıcıya kolay bir biçimde sunma olanağı sağlamaktadır. Günümüzde IRSIS, BUDGET, CROPWAT ve AQUACROP gibi içerisinde sulama programlama olanağı bulunan çeşitli yazılımlar kullanıma sunulmuştur (FAO, 2009; Raes ve ark. 1988; Raes ve ark. 2006; Steduto ve ark. 2009).

Bu çalışmada yeni geliştirilen AGROS yazılımının bitki su tüketimi ve sulama yönetimi modülü konu edilmiştir. Programın teorik dayanakları ve bir uygulama çalışma kapsamında sunulmuştur.

### **AGROS Yazılımı**

AGROS bitki su tüketimi ve sulama yönetimi, toprak analizi, su analizi, ekonomi analizleri, bitki analizleri ve bitki koruma modüllerinden oluşan bir tarımsal karar destek sistemidir (Şekil 1). Tüm modüllerinin arka planında güncel bilimsel yaklaşımlara dayanan matematiksel algoritmalar ve veri tabanları bulunmaktadır.

### **AGROS Bitki Su Tüketimi ve Sulama Yönetimi Modülü Teorik Arka Planı**

#### **Temel Veriler**

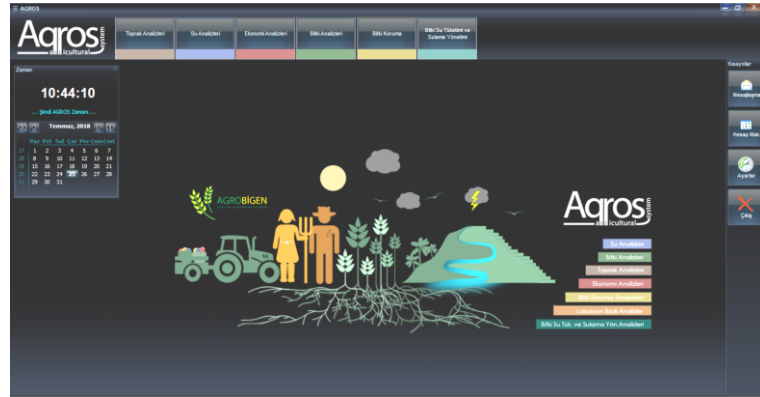
Program iklim, toprak, bitki, sulama yöntemi ve tarım işletmesine ilişkin verileri bir arada kullanarak ETc tahmin etme ve sulama programlama olanağı sunmaktadır.

Yazılıma ilk olarak tarım işletmesi ile ilgili genel bilgilerin girilerek kayıt oluşturulması gerekmektedir. Bu bilgiler arasında ilgili kişinin kişisel bilgilerinin yanı sıra, hesaplamanın yapılacağı arazinin bulunduğu mevki, köy, ilçe ve il bilgileri de girilerek saklanabilmektedir (Şekil 2). Böylece oluşturulan kayda daha sonra ihtiyaç duyulduğunda tekrar ulaşılabilen ve tekrar düzenleme yapılabilmektedir.

AGROS bitki su tüketimi ve sulama yönetimi modülü giriş ara yüzü sadece hesaplamanın yapılacağı tarım işletmesi ve arazi bilgileri girişi değil, aynı zamanda meteoroloji istasyonu ve bitki seçimi, sulama

yöntemi seçimi ve bilgilerinin girişi ve toprak fiziksel özelliklerinin girişi için de olanak sunmaktadır (Şekil 2). Meteoroloji istasyonu ve bitki seçimi için daha önceden bu bilgilerin veri tabanına girilmiş olması gerekmektedir. Bitki ekim veya dikim tarihi bu bölümde sisteme girilebilmektedir.

Sulama yöntemi olarak yüzey, yağmurlama ve damla sulama yöntemlerinden birisinin seçimi ve ilgili yöntem için sulama randımanı girişi yapılması gerekmektedir. Damla sulama yöntemi için sulama randımanına ek olarak ıslatma oranı bilgisinin de girilmesine ihtiyaç bulunmaktadır.



Şekil 1. Agros yazılımı ana sayfası  
Figure 1. Home page of AGROS software



Şekil 2. AGROS Sulama programlama ara yüzü.  
Figure 2. AGROS irrigation scheduling interface.

Fiziksel toprak verisi girişinde ilk adım toprak profil derinliğidir. İkinci adım ise esnek olarak girilebilen her bir toprak katmanı için hacim ağırlığı, tarla kapasitesi ve solma noktası bilgileridir. Bu bilgiler tüm profil için tek bir değer olarak sisteme girilebildiği gibi, farklı derinlikler için de olanak sağlanmaktadır. AGROS girilen toprak verilerini bitki kök gelişimine göre günlük olarak değerlendirmekte, günlük elverişli kapasiteyi hesaplamakta ve kullanmaktadır. Bitki kök gelişiminde toplam katman derinliği en üst limiti oluşturmaktadır. Fiziksel toprak özellikleri

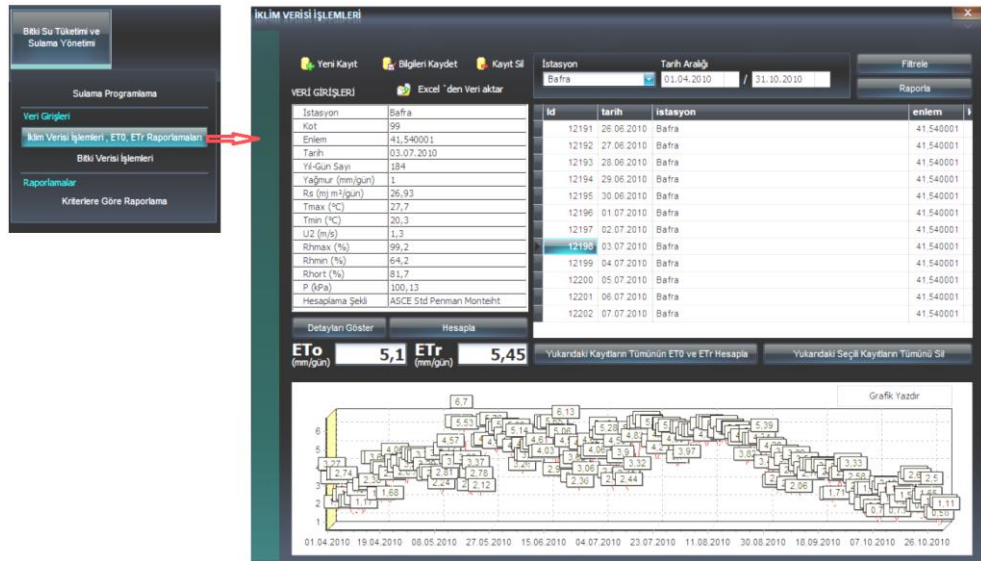
ekle ve sil seçenekleri ile daha sonra tekrar düzenlenebilmektedir.

AGROS ETc hesabında detayları Allen ve ark. (1998)' de verilen yaklaşımı kullanmaktadır. Buna göre ilk adım meteorolojik verilere dayalı olarak referans bitki su tüketimi hesabıdır. AGROS referans bitki su tüketimi hesabını kısa boylu referans bitki (ETo) ve uzun boylu referans bitki (ETr) için ayrı ayrı yapabilmektedir. ETr' nin hesaplanmasının nedeni bazı bilimsel çalışmalar da bu değere ihtiyaç duyulmasıdır. ETo ve ETr hesaplamada Standardize ASCE

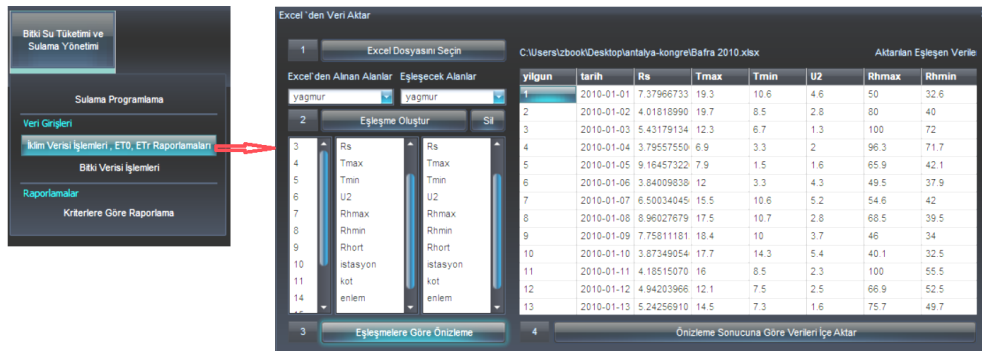
Penman Monteith yöntemi kullanılmaktadır (ASCE-EWRI, 2005).

İklim verisi işlemleri ara yüzü hem iklim verisi girişi hem de kayıtlı olan iklim verilerini tekrar çağırma ve işlem yapma amacıyla tasarlanmıştır (Şekil 3). Bu bölümde günlük iklim verileri elle girilebileceği gibi, Ms Excel yazılımından kolay bir şekilde AGROS veri tabanına aktarılabilir (Şekil 4). Veri aktarma öncesinde iklim verilerinin MS Excel

ortamında düzenleme, kalite kontrolü ve birim çevirme işlemlerine tabi tutulması gereklidir. Ardından AGROS, işaret edilen MS Excel dosyasında ilgili sütun başlıklarını kendisi tanıyabileceği gibi, her bir satır başlığı kullanıcı tarafından da AGROS'a tanıtılabilir. Otomatik sütun başlığı tanıma için her bir iklim parametresinin başlığı AGROS veri tabanı formatı ile aynı formatta MS Excel sütun başlığı olarak oluşturulmalıdır.



Şekil 3. AGROS iklim verisi arayüzü.  
Figure 3. AGROS climatic data interface.



AGROS iklim verileri MS Excel aktarma modülü  
Figure 4 AGROS climatic data transfer module from Ms Excel.

İklim verileri AGROS veri tabanına yüklendikten sonra ETo ve ETr hesaplama butonuna basılarak günlük hesaplama yapılabilir ve bu hesap saklanabilir. Yapılan hesaplama, farklı dosya formatlarında ayrı bir dosya olarak bilgisayarda saklanabilir (Şekil 5). Bu ara yüzde ayrıca kullanıcı gün seçerek her bir günün Standardize ASCE Penman

Monteith hesaplama detaylarını ekranda görebilir. Bu özellikler AR-GE çalışmaları için tasarlanmıştır. Ayrıca kullanıcı hesaplama yapılan tüm günlerin ETo ve ETr değişimlerini grafik olarak ekranda görebilir. Aynı ekranda kullanıcı seçilen istasyon için belirli bir zaman aralığını filtreleyerek görebilir veya ayrı dosya olarak kayıt edebilir

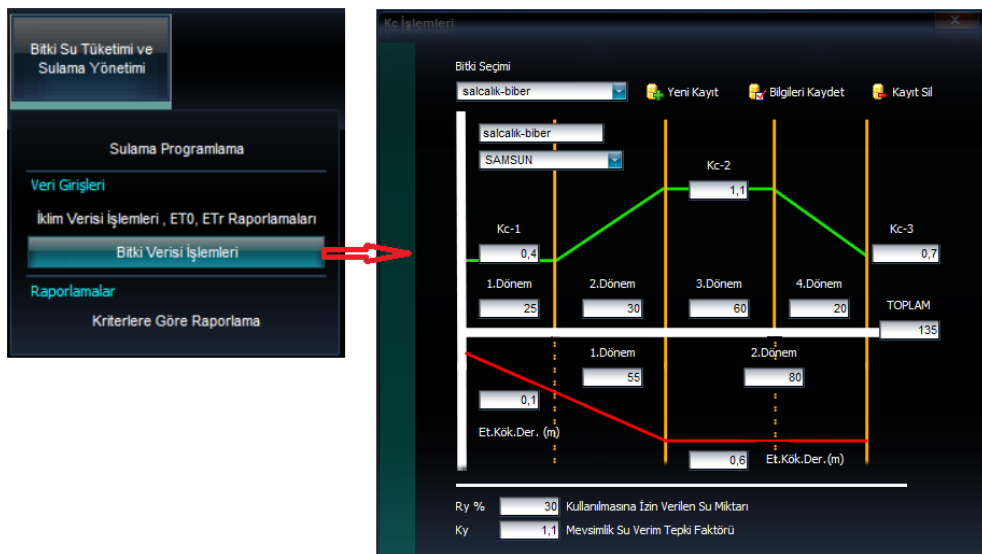
(Şekil 3 ve Şekil 5). Bu bölüm hem geçmiş yıllar hem de gerçek zamanlı programlama için günlük iklim verisinin girişine olanak sağlamaktadır.

AGROS bitki verisi işlemleri ara yüzü hem daha önce kayıtlı olan bitkileri çağırma ve düzenleme, hem de yeni bitki verisi girme işlemleri için kullanılmak üzere tasarlanmıştır (Şekil 6). Bu bölümde bitkinin adı, yetiştirileceği bölge bilgilerinin ardından başlangıç, orta ve son dönem bitki katsayısı (Kc) bilgileri ve başlangıç, gelişme, orta ve

son dönem gün uzunluğuk bilgileri programa girilmelidir. Bunlara ek olarak farklı gelişme dönemleri için bitki kök derinliği bilgisi, sulama programlama için kullanılmasına izin verilen elverişli kapasitesi (TK-SN) yüzdesi (Ry) ve mevsimlik su-verim tepki faktörü (Ky) değerlerinin girilmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Bitkilerin ekim veya dikim tarihleri sulama programlama ara yüzünde bitki seçimi yapılan bölümde girilebilmektedir.

Sıra	Kayın	Ekim	Har	Sel	Gun	Yuz	Yuz	RHMax	RHMin	RHOr	F	Uzunluğuk	ETo	ETr	
1	Bata	01.04.2010	01	19.38	52	9.3	1.7	79.4	38.8	58	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	3.27	4.18	
2	Bata	01.04.2010	02	17.91	20.9	10.9	1.0	100	83	87	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	2.54	2.78	
3	Bata	01.04.2010	03	16.26	12	9.3	1.3	100	84	99	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	1.73	1.16	
4	Bata	01.04.2010	04	15.21	11.1	6.4	1.8	100	91.3	81	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	2.77	3.05	
5	Bata	01.04.2010	05	15.24	10.6	23.32	18.8	67	3	100	85	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	2.74	3.23
6	Bata	01.04.2010	06	15.41	14	0.6	0.3	100	70	95.3	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	1.27	1.02	
7	Bata	01.04.2010	07	13.2	14.3	7.8	1.8	100	72	95	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	1.98	1.71	
8	Bata	01.04.2010	08	9.94	10.1	7.2	1.8	100	73	95	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	1.23	1.28	
9	Bata	01.04.2010	09	8.59	11.5	7.1	1.7	100	75.7	95.7	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	1.21	1.28	
10	Bata	01.04.2010	10	10.21	13.2	6.7	1.1	100	75.8	96	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	1.37	1.4	
11	Bata	01.04.2010	11	10.71	13.2	7.3	1.8	100	71.1	91.3	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	1.35	1.38	
12	Bata	01.04.2010	12	11.33	9.4	8	1.9	100	87.3	89	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	1.17	1.18	
13	Bata	01.04.2010	13	11.2	13.7	6.7	1.4	100	81.1	83.3	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	2.15	2.38	
14	Bata	01.04.2010	14	10.4	13.3	11.1	4.8	2.1	100	88	84	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	2.2	2.43
15	Bata	01.04.2010	15	10.21	15.4	8.3	2.2	100	88.1	82.7	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	2.38	2.48	
16	Bata	01.04.2010	16	10.23	24.1	6.2	2	100	43.3	74.3	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	3.84	4.28	
17	Bata	01.04.2010	17	10.23	21.9	12.2	1.7	100	88.8	48	72.3	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	3.84	4.22
18	Bata	01.04.2010	18	10.8	8.74	12.2	10.2	1.3	100	48	77	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	1.85	1.97
19	Bata	01.04.2010	19	10.8	27.33	15.4	8.2	3.6	100	81	83	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	3.14	3.6
20	Bata	01.04.2010	20	11.2	21.7	8.8	2.3	100	66	68	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	3.05	3.28	
21	Bata	01.04.2010	21	11.23	18.4	10.1	1.7	100	85.1	95.3	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	1.88	1.72	
22	Bata	01.04.2010	22	11.2	19.75	18.1	9.1	1.2	100	53.8	79	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	2.75	3.04
23	Bata	01.04.2010	23	11.2	20.8	20.4	8.3	2.2	98.8	48.8	44.7	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	4.08	4.82
24	Bata	01.04.2010	24	11.4	20.48	18.8	7.5	1.7	100	53.6	81	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	3.45	3.78
25	Bata	01.04.2010	25	11.5	20.24	16.3	7.1	1.8	100	63.8	85.7	100.13	ACSE Sül Permen Mürakizi	3.18	3.37

Şekil 5. AGROS iklim verisi, ETo ve ETr raporlama sayfası.  
Figure 5 AGROS climatic data, ETo and ETr report page.



Şekil 6. AGROS bitki verisi arayüzü.  
Figure 6. AGROS crop data interface

AGROS ETC hesaplama ve sulama programlama ara yüzünde (Şekil 2) daha önce girilen iklim ve bitki verilerinin seçilmesi, işletme bilgileri, sulama yöntemi bilgileri ve toprak verilerinin de girilmesinin (veya güncellenmesi) ardından “ileri” (Şekil 2) butonuna basılarak en uygun sulama programı oluşturulabilir (Şekil 7).

AGROS sulama programlamada günlük ETC, günlük etkili yağış, bitki kök gelişimi ve toprak fiziksel özelliklerine göre günlük olarak elverişli su tutma kapasitesine göre, günlük toprak su bütçesi hesabı yapmaktadır. En uygun sulama programlamada hedef verim kaybının hiç olmayacağı bir toprak su koşulunun sağlanmasıdır. Verim kaybının kestirilmesinde AGROS sistemi Stewart yaklaşımını kullanmaktadır (Doorenbos ve Kassam 1979; Steduto ve ark. 2012). Bu aşamada AGROS sulama miktarlarını, gerçek bitki su tüketiminin (ETa) ETC’ye eşit olacağı ve toprak su içeriğinin tarla kapasitesinin üzerine çıkmayacağı miktarda hesaplamaktadır. Açılan yeni ara yüzde sulama programı, elverişli su tutma kapasitesi (TK-SN), tahmin edilen toprak su içeriği (TSa) ve kullanılmasına izin verilen toprak su kapsamı (MAD) verileri ile birlikte grafiksel olarak sunulmaktadır (Şekil 7). Bu ara yüzde kullanıcıya 3 farklı seçenek daha sunulmaktadır (Şekil 7a). Bu seçeneklerden birisi en uygun sulama programı yerine kullanıcı tarafından sulama programlarının tasarlanması üzerinedir. Bu kısımda kullanıcıya en uygun sulama programlamaya alternatif 4 farklı alt seçenek sunulmaktadır (Şekil 7b, c, d). Sabit sulama aralığı seçeneğinde kullanıcı tarafından girilen sulama aralığına göre, her sulamada tam sulama yapılacak bir sulama programı oluşturulmakta ve buna göre verim kaybı tahmini yapılmaktadır. Sabit sulama suyu miktarı seçeneğinde ise kullanıcı tarafından girilen sulama suyu miktarı kadar sulama ihtiyacı olduğu günler için sulama programı hazırlanmakta ve bu programa göre verim kaybı öngörüsü sunulmaktadır. Sabit sulama aralığı-su miktarında hem sulama aralığı hem de sulama miktarı kullanıcı tarafından girilebilmekte ve bu sulama programın neticesinde oluşan verim seviyesi program tarafından tahmin edilmektedir. Esnek sulama tarihi – sulama suyu miktarı ise

kullanıcıya sulama tarihlerini seçme ve her bir tarih için sulama suyu miktarı girişi yapma olanağı sunmaktadır. Esnek sulama programı neticesinde oluşabilecek verim kaybı da program tarafından tahmin edilmektedir. Sulama programlama ara yüzünde sunulan diğer bir seçenek hazırlanan sulama programı raporunun hazırlanmasıdır. Söz konusu rapor sulama programının özet bilgilerini kapsamaktadır. Bu rapor farklı bilgisayar dosya formatlarında kayıt edilebilmektedir. Rapor sulama tarihleri ve bu tarihlerdeki net sulama suyu ihtiyacı (mm) ve toplam sulama suyu ihtiyacı (m ve m<sup>3</sup>) bilgilerini ve verim kaybı yüzdesi bilgisini de kapsamaktadır (Şekil 8).

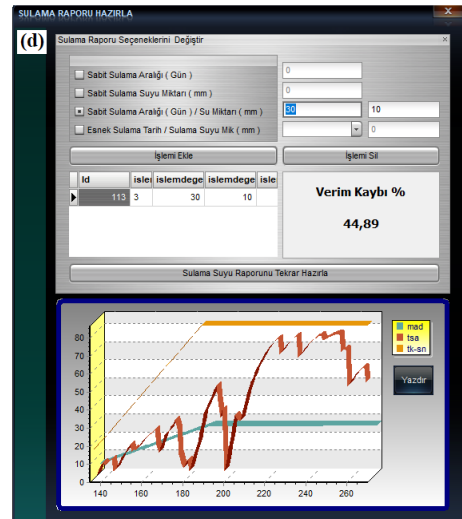
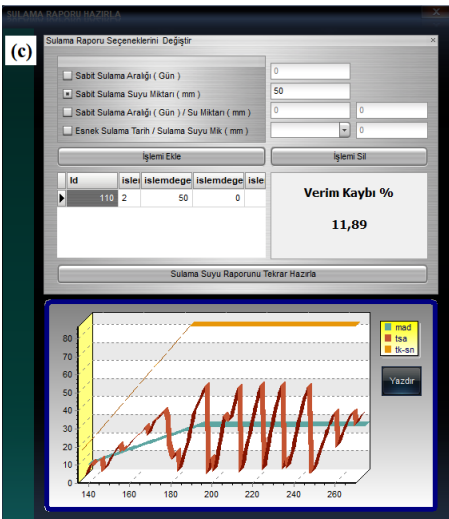
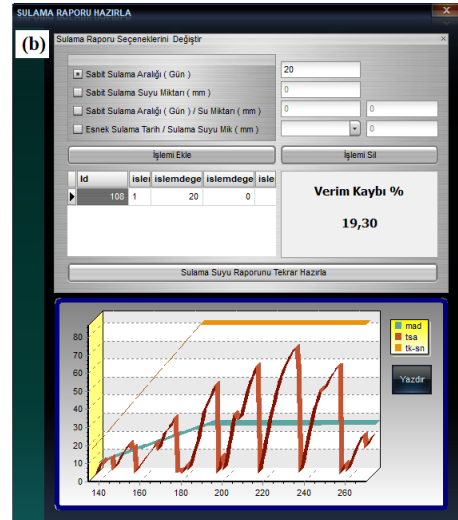
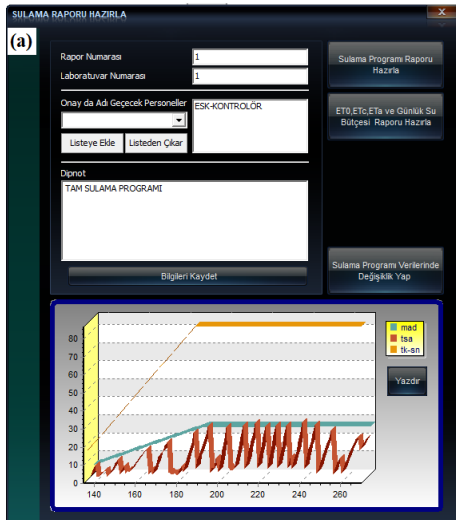
Sulama programlama ara yüzünde bulunan üçüncü bir seçenek ise detaylı günlük ETC ve su bütçesi raporunun hazırlanmasıdır. Bu rapor da farklı dosya formatlarında saklanabilmektedir. Söz konusu rapor hesaplamaların yapıldığı tüm günleri kapsamaktadır (Şekil 9). Burada her gün için ETo, etkili yağış (EY) ve Kc değerleri sunulmaktadır. Günlük ETC, ETa ve tahmin edilen toprak su içeriği (TSİ) ve MAD değerleri de raporda yer almaktadır. ETa değerinin ETC den farklı olduğu dönemlerin hesaplama da dikkate alınmasında kullanılan bitki su stresi faktörü (Ks) değerleri de günlük olarak sunulmaktadır. Sulama öngörülen tarihler için net (SSİn) ve toplam (SSİt) sulama suyu ihtiyaçları raporda sunulmaktadır. En son sütun yağış veya sulama neticesinde yüzey akış, drenaj vb. yollarla oluşabilecek toplam su kaybını göstermektedir.

#### ***AGROS Bitki Su Tüketimi ve Sulama Yönetimi Modülü Örnek Çözüm***

Bu çalışmada AGROS yazılımı bitki su tüketimi ve sulama yönetimi modülü kullanılarak hazırlanan örnek çözüm sonuçları Köksal ve ark. (2017)’de detayları verilen salçalık biber ETC ve verim sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu nedenle örnek çözümde Bafra ilçesinin 2010 yılı iklim verileri, salçalık biber bitkisinin özellikleri, sulama yöntemi olarak damla sulama yöntemi ve söz konusu araştırmanın yapıldığı deneme arazisinin toprak özellikleri kullanılmıştır (Şekil 2). İklim verisi olarak günlük en yüksek sıcaklık (Tmax), en düşük

sıcaklık (Tmin), en yüksek oransal nem (RHmax), en düşük oransal nem (RHmin), ortalama oransal nem (RHort), rüzgar hızı (u2), güneş radyasyonu (Rs), atmosferik basınç (P) ve yağmur verileri kullanılmıştır. Söz konusu veriler Ms Excel ortamında düzenlenmiş, kalite kontrolünden geçirilmiş, eksik veriler Allen ve ark. (1998)' de verilen yöntemlere göre tamamlanmış, her bir verinin bulunduğu sütunun başlığı AGROS veri tabanı formatı ile aynı olarak düzenlenmiş ve veriler AGROS' a

aktarılmıştır (Şekil 4). Ardından ETo ve ETr hesaplamaları yapılmıştır. Hesaplamaların ardından elde edilen sonuçlar, genel olarak kontrol edilmiştir. Bu kontrolde amaç, Ms Excel' den veri aktarmada farklı bir iklim verisinin farklı bir veriye atanması veya birim farklılıkları nedeniyle hatalı hesaplama ihtimaline karşın gerçekleştirilmiştir. Kontrolün ardından istasyon adı "Bafra" olarak kayıt edilmiştir. Daha sonra bu kayıt ETc ve sulama programlama aşamalarında kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir.



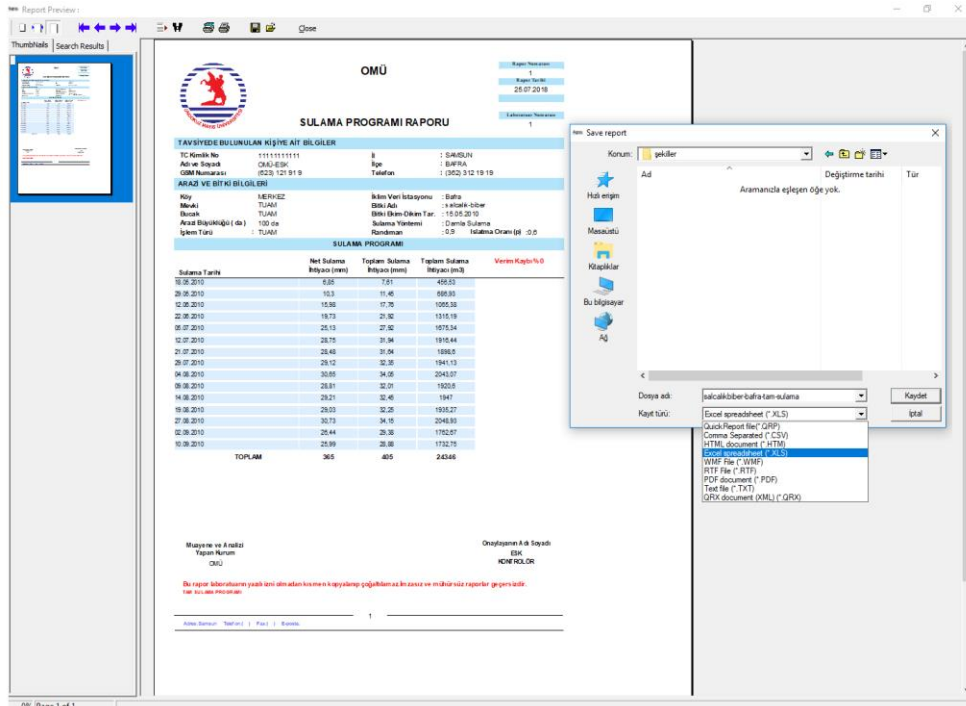
Şekil 7. AGROS , Bafra 2010 yılı iklim koşullarında yetişen kırmızı biber için tam sulama ve kısıntılı sulama, sulama programlama sonuçları  
Figure7. AGROS irrigation scheduling results for full irrigation and limited irrigation for red pepper under 2010 climatic condition of Bafra



İkinci adım olarak hesaplamaların yapıldığı Bafra bölgesi için salçalık biberin bitki katsayısı değerleri başlangıç, orta ve son dönem için sırasıyla 0,4, 1,1 ve 0,7 olarak girilmiştir. Aynı ara yüzde başlangıç, gelişme, orta ve son dönem uzunlukları sırasıyla 25, 30, 60 ve 20 gün ve salçalık biberin etkili kök derinliği ekim için 10 cm ve orta dönem başlangıcı itibari ile 60 cm olarak sisteme girilmiştir. Ry değeri % 30 ve Ky değeri 1,1 olarak dikkate alınmıştır. Tüm verilerin girildiği bitki dosyası “salçalık-biber” adıyla AGROS veri tabanına kayıt edilmiştir. Söz konusu dosya ETC ve sulama

programlama işlemleri için hazır hale getirilmiştir (Şekil 6).

AGROS bitki su tüketimi ve sulama yönetimi modülü açılarak işletme bilgileri taslak olarak girilmiştir. Ardından iklim istasyonu olarak veri tabanında bulunan “Bafra”, bitki olarak veri tabanında bulunan “salçalık-biber” seçilmiştir. Bitki dikim tarihi olarak 15 Mayıs 2010 girilmiştir. Sulama yöntemi olarak damla sulama seçilmiş, sulama randımanı % 90 ve ıslatma oranı 0,7 değerleri sisteme girilmiştir. Hesaplamanın yapılacağı parsel alanı 100 da ve toprak derinliği 0,6 m olarak sisteme girilmiştir (Şekil 2).



Şekil 8. AGROS sulama programlama raporu (2010 yılı, Bafra, kırmızı biber, tam sulama)  
Figure 8. AGROS irrigation scheduling report (year 2010, Bafra, red pepper, fully irrigation)

Bu örnek hesaplama için 60 cm' lik bir toprak profilinin fiziksel özellikleri Köksal ve ark. (2017)' de verilen toprak özelliklerine göre hacim ağırlığı 1,3 g/cm<sup>3</sup>, ağırlık yüzdesi cinsinden tarla kapasitesi % 30,6 ve solma noktası %19,5 olarak sisteme girilmiş ve derinlik cinsinden hesaplamalar AGROS sistemi tarafından gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Bu aşamadan sonra programda ilerlenmiş ve en uygun sulama programı sistem tarafından oluşturulmuştur (Şekil 7a). En uygun sulama programının yanı sıra, sistemin test edilmesi için sabit sulama aralığı 20 gün

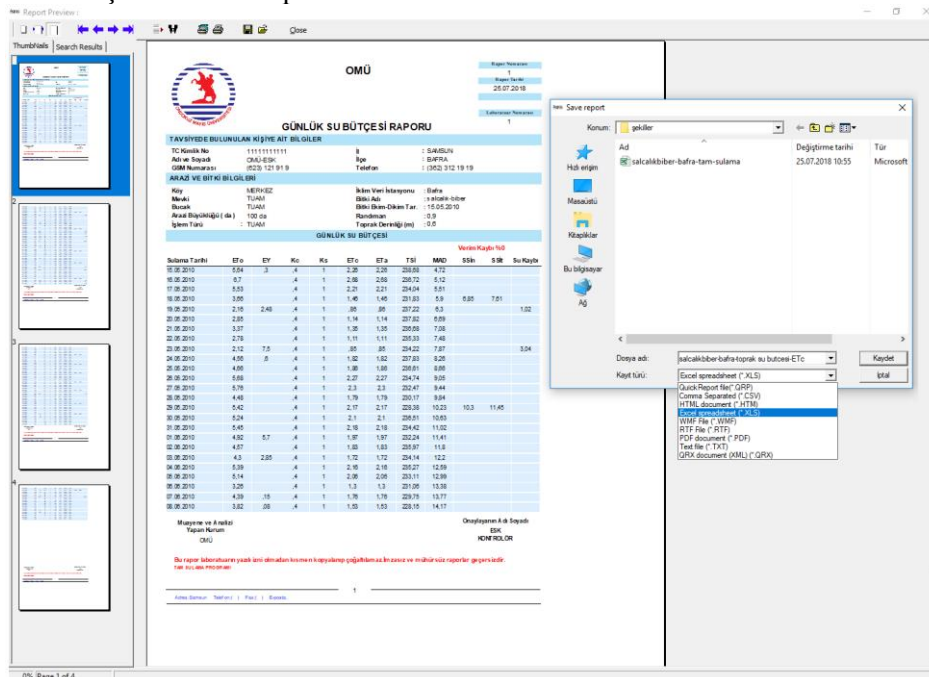
için (Şekil 7b), sabit sulama suyu miktarı 50 mm için (Şekil 7c), 30 gün ara ile 10 mm sulama (sabit sulama aralığı ve su miktarı) için (Şekil 7d) ayrı ayrı sulama programları hazırlanmıştır. Konu edilen 4 farklı sulama programına ilişkin grafiksel sonuçlar Şekil 7' de verilmiştir. Şekil üzerinde her bir sulama programı için AGROS sistemi tarafından hesaplanan mevsimlik toplam sulama suyu miktarı, ETC ve verim kaybı yüzdesi değerleri de verilmiştir.

AGROS sistemi verim kaybının olmayacağı en uygun sulama programı



kapsamında, Bafra’ da 2010 yılında, damla sulama ile sulanan salçalık biberde 15 defa sulama öngörmüş, net sulama suyu derinliğini 365 mm, toplam sulama suyu derinliğini 405 mm ve % 60 ıslatma oranına göre 100 da için toplam sulama suyu ihtiyacını 24.346,0 m<sup>3</sup> olarak hesaplamıştır (Şekil 7 ve Şekil 8). Bu koşullarda mevsimlik ETc’ nin 505 mm olacağı hesaplanmıştır. Koksal ve ark. (2017)’ da verildiğine göre, Bafra’ da 2010 yılında tam sulama koşulunda salçalık bibere damla sulama ile mevsim boyu net 365 mm sulama suyu uygulanmış ve ölçülen verilerle yapılan toprak su bütçesi hesabı sonucunda ETc 472 mm olarak elde edilmiştir. Arazi denemesi sonucunda elde edilen bu değerler AGROS çözümü ile oldukça uyumludur. AGROS tarafından 20 günde bir tam sulama koşulunda Bafra’ da 2010 yılında salçalık biber veriminin % 19,3 azalacağı tahmin edilmiştir. Bu durumda toplam 271 mm sulama suyu uygulanacağı ve 2010 yılında salçalık biber yetiştirme mevsimindeki yağışlarla birlikte toplam 417 mm ETc oluşabileceği tahmin edilmiştir. AGROS ile her 50 mm toprak su açığı oluştuğunda 50 mm sulama yapılması durumunda salçalık bibere toplam 250 mm

sulama suyu uygulanacağı, 451 mm ETc oluşabileceği ve verimin % 11,89 azalabileceği öngörülmüştür. Koksal ve ark. (2017)’ e göre 2010 yılında Bafra ovasında salçalık biberde 266 mm sulama suyu uygulanması durumunda ETc’ nin 415 mm olduğu ve verimin % 16,4 azaldığı bildirilmiştir. AGROS sistemi ile yapılan son hesaplamada 30 günde bir 10 mm sulama suyu uygulanması koşulu değerlendirilmiştir. Bu durumda toplam 40 mm sulama suyunun uygulanacağı, ETc’ nin 299 mm olacağı ve salçalık biber veriminin % 44,89 azalabileceği hesaplanmıştır. Koksal ve ark. (2017)’ de verildiğine göre aynı yıl Bafra koşullarında 36 mm sulama suyu uygulanan deneme konusunda ETc 294 mm olarak gerçekleşmiş ve verim % 49,6 azalmıştır. Sonuç olarak yapılan örnek çözüm ve aynı yıl, aynı bölge ve aynı bitki için yürütülen araştırma sonuçları büyük ölçüde uyumludur. Bu uyum AGROS yazılımının bitki su tüketimi ve sulama yönetimi modülünde kullanılan yaklaşımların doğru olduğunu ve bu yaklaşımlara ilişkin yöntemlerin AGROS sistemi içerisinde doğru bir biçimde yapılandırıldığını göstermektedir.



Şekil 9. AGROS bitki su tüketimi ve günlük toprak su bütçesi raporu (2010 yılı, Bafra, kırmızı biber, tam sulama)

Figure 8. AGROS crop evapotranspiration and daily soil water budget report (year 2010, Bafra, red pepper, fully irrigation)

## Sonuç ve Öneriler

Bitki su tüketimi (ETc) su kaynakları yönetimi, sulama suyu yönetimi ve kuraklığın izlenmesi ve değerlendirilmesi başta olmak üzere birçok konuda gerekli olan önemli bir parametredir. ETc; iklim, toprak, bitki ve su varlığına dayanmaktadır. ETc' nin ölçümü çoğunlukla ETc tahmin modellerinin geliştirilmesi ve bölgesel olarak doğrulanması ve uyarlanması çalışmalarında kullanılmaktadır. ETc Dünya' da ve Türkiye' de çoğunlukla tahmin edilen bir parametredir. ETc tahmini için geliştirilmiş çok sayıda yöntem mevcuttur ve bu yöntemlerin birçoğu çok fazla veriye dayanan karmaşık hesaplamalar içermektedir. Bu nedenle ETc tahmini için geliştirilmiş bilgisayar yazılımlarının kullanılması tüm Dünya' da ve Türkiye' de çok yaygındır. ETc tahmini için geliştirilmiş çok sayıda bilgisayar yazılımı olmasına karşın yeni geliştirilen AGROS yazılımının ilgili modülü Türkçe olarak tasarlanmış ilk sistemdir. Bu yönü ile AGROS' un üniversiteler, araştırma kurumları, kamu kurumları ve özel sektör için büyük öneme sahip olduğu değerlendirilebilir. Diğer yandan karmaşık iklim verilerinin her hangi bir kısıt olmadan doğrudan AGROS sistemine aktarılabilir olması, veri tabanı içerisinde bu verilerin saklanabilir olması programın kullanımını oldukça kolaylaştırmaktadır.

Sulama programlarının temelinde ETc ile birlikte etkili yağış, bitki özellikleri, toprak özellikleri, sulama yöntemi ve su varlığına göre belirli bir verim hedefi ile hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplama günlük toprak su bütçesinin yanı sıra su verim ilişkilerine dayanmalıdır. Sulama programları hem sulama sistemlerinin tasarımı hem de sulama sistemlerinin işletilmesi için büyük öneme sahiptir. Karmaşık hesaplamalar içeren sulama programlarının, bu amaçla geliştirilmiş bilgisayar yazılımları kullanılarak yapılması, hem farklı alternatiflerin geliştirilmesi ve değerlendirilmesi, hem de hesaplamada yapılabilecek hataların ortadan kaldırılması bakımından büyük kolaylık sağlamaktadır. AGROS sulama programlama modülü Türkçe olmasının yanı sıra sulama aralığı ve sulama suyu miktarına dayalı farklı

alternatifleri sunması ile kullanıcıya etkili seçenekler sunmaktadır. Diğer yandan AGROS sisteminin sulama programlarını hem geçmiş yıllar iklim verilerine göre hem de gerçekleşen iklim verilerine göre gerçek zamanlı olarak hazırlama olanağı sunması, sulama sistemlerinin tasarımı ve işletmesi için AGROS' u uygun bir sistem haline getirmektedir.

Bu çalışma kapsamında AGROS sistemi Bafra koşullarında 2010 yılında salçalık biber üzerine yürütülmüş bir arazi denemesi sonuçlarına dayanak alınarak örnek bir çözüm ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar AGROS sisteminin ETc ve sulama programlamada etkili bir biçim kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Gelecekte AGROS yazılımının yaygınlaşması ile kullanıcılardan gelecek olan geri dönüşlerin sistemin olgunlaşmasına katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

## Teşekkür

AGROS yazılımı Samsun Teknopark çatısı altında faaliyet gösteren AGROBİGEN AR-GE LTD. ŞTİ. tarafından KOSGEB desteği ile geliştirilmiştir. AGROBİGEN kurucu ortakları Prof. Dr. Vedat CEYHAN, Prof. Dr. Rıdvan KIZILKAYA, Prof. Dr. Bilal CEMEK, Prof. Dr. İzzet AKÇA, Prof. Dr. Hüsnü DEMİRSOY ve Doç. Dr. Eyüp Selim KÖKSAL AGROS sisteminin geliştirilmesine katkı sağlamış, KAYRASOFT Yazılım ve Bil. Tek. LTD. ŞTİ' den Ahmet KOÇ' yazılımı hazırlamıştır.

## Kaynaklar

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome
- ASCE-EWRI. 2005. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. In: Allen RG, Walter IA, Elliot RL, vd. (eds.) Environmental and Water Resources Institute (EWRI) of the American Society of Civil Engineers, ASCE, Standardization of Reference

- Evapotranspiration Task Committee Final Report, 213pp. Reston, VA: American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Doorenbos, J., Kassam, A. H., 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper NO 33 FAO, Rome
- FAO, 2009. Cropwat 8.0 for windows user guide. Rome, Italy.
- Köksal, E. S., Tasan, M., Artik, C., Gowda, P., 2017. Evaluation of financial efficiency of drip-irrigation of red pepper based on evapotranspiration calculated using an iterative soil water-budget approach. *Sci Horti Amst* 226:398–405
- Raes, D., Geerts, S., Kipkorir, E., Wellens, J., Sahli, A., 2006. Simulation of yield decline as a result of water stress with a robust soil water balance model, *Agricultural Water Management* 81:335–357.
- Raes, D., Lemmens, H., Van Aelst, P., Vanden Bulcke, M., Smith, M., 1988. IRSIS—Irrigation scheduling information system, vol. 1. Manual. K.U.Leuven, Dep. Land Management, Reference Manual 3.
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D., Fereres, E., 2009. AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: I. concepts and underlying principles. *Agron J* 101.
- Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., Raes, D., 2012. FAO Irrigation and drainage paper 66. Crop yield response to water. Rome (Italy).